

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

013533096 **Image available**

WPI Acc No: 2001-017302/200103

XRAM Acc No: C01-004987

XRFX Acc No: N01-013097

Process for anisotropic etching of structures in a semiconductor body comprises applying ion acceleration voltage between the plasma and the semiconductor body via an etching step lasting a prescribed period of time

Patent Assignee: BOSCH GMBH ROBERT (BOSC)

Inventor: LAERMER F; SCHILP A

Number of Countries: 021 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No Kind Date Applicat No Kind Date Week

DE 19919832 A1 20001109 DE 1019832 A 19990430 200103 B

WO 200067306 A1 20001109 WO 2000DE1296 A 20000426 200103

Priority Applications (No Type Date): DE 1019832 A 19990430

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

DE 19919832 A1 10 H01L-021/3065

WO 200067306 A1 G H01L-021/3065

Designated States (National): JP KR US

Designated States (Regional): AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU

MC NL PT SE

Abstract (Basic): DE 19919832 A1

NOVELTY - Process for anisotropic etching of structures in a semiconductor body, especially laterally defined recesses in a silicon body (18) comprises applying ion acceleration voltage between the plasma (28) and the semiconductor body via an etching step lasting a prescribed period of time. The time period for the etching step is divided into at least two etching sections between which the applied ion acceleration voltage is changed.

DETAILED DESCRIPTION - Preferred Features: The length of the first etching section is determined using a device to detect a polymer breakthrough.

USE - For anisotropically plasma etching semiconductors.

ADVANTAGE - The intensity of the effective ion acceleration can be adapted between the plasma and the substrate electrode during etching.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a cross-section through the plasma etching plant.

silicon body (18)

plasma (28)

EL234413077US

pp; 10 DwgNo 1/1

Title Terms: PROCESS; ANISOTROPE; ETCH; STRUCTURE; SEMICONDUCTOR; BODY;
COMPRISE; APPLY; ION; ACCELERATE; VOLTAGE; PLASMA; SEMICONDUCTOR;
BODY;

ETCH; STEP; LAST; PRESCRIBED; PERIOD; TIME

Derwent Class: A85; L03; U11

International Patent Class (Main): H01L-021/3065

International Patent Class (Additional): H01L-021/66

File Segment: CPI; EPI

Manual Codes (CPI/A-N): A11-C04D; A12-E07C; L04-C07D

Manual Codes (EPI/S-X): U11-C07A1

Polymer Indexing (PS):

<01>

001 018; P0000

002 018; Q9999 Q7476 Q7330; B9999 B5469 B5403 B5276; N9999 N7181 N7023;
K9483-R; K9676-R; ND07; K9381

DIALOG(R)File 345:Inpadoc/Fam.& Legal Stat

(c) 2001 EPO. All rts. reserv.

16505888

Basic Patent (No,Kind,Date): DE 19927806 A1 20010104 <No. of Patents: 001

>

PATENT FAMILY:

GERMANY (DE)

Patent (No,Kind,Date): DE 19927806 A1 20010104

VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM HOCHRATENAETZEN EINES
SUBSTRATES MIT

EINER PLASMAAETZANLAGE UND VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM
ZUENDEN

EINES PLASMAS UND HOCHREGELN ODER PULSEN DER PLASMALEISTUNG
(German)

Patent Assignee: BOSCH GMBH ROBERT (DE)

Author (Inventor): BECKER VOLKER (DE); LAERMER FRANZ (DE); SCHILP
ANDREA (DE); BECK THOMAS (DE)

Priority (No,Kind,Date): DE 19927806 A 19990618

Applic (No,Kind,Date): DE 19927806 A 19990618

IPC: * H01L-021/3065; C23F-004/00; C30B-033/12; H01L-021/308

Language of Document: German

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

012292317 **Image available**

WPI Acc No: 1999-098423/199909

XRAM Acc No: C99-029284

XRPX Acc No: N99-071718

Anisotropic plasma etching of silicon@ wafers - where reactive particles from a fluorine@ plasma are accelerated through a perforated aluminium@ diaphragm, to the wafer which is surrounded by an absorber

Patent Assignee: BOSCH GMBH ROBERT (BOSC)

Inventor: BECKER V; LAERMER F; SCHILP A

Number of Countries: 003 Number of Patents: 004

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
GB 2327909	A	19990210	GB 9817077	A	19980805	199909 B
DE 19734278	C1	19990225	DE 1034278	A	19970807	199912
JP 11135488	A	19990521	JP 98224354	A	19980807	199931
GB 2327909	B	20000308	GB 9817077	A	19980805	200015

Priority Applications (No Type Date): DE 1034278 A 19970807

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
-----------	------	-----	----	----------	--------------

GB 2327909	A	22	H01L-021/3065		
------------	---	----	---------------	--	--

JP 11135488	A	7	H01L-021/3065		
-------------	---	---	---------------	--	--

GB 2327909	B		H01L-021/3065		
------------	---	--	---------------	--	--

DE 19734278	C1		C23F-004/00		
-------------	----	--	-------------	--	--

Abstract (Basic): GB 2327909 A

Anisotropic plasma etching of a substrate (9) uses a high frequency electromagnetic alternating field generated by an inductively coupled plasma source (8). A reactive gas mixture is exposed to the field to produce the plasma. The charged particles of the plasma are accelerated toward the substrate, and through a perforated diaphragm (14). The aperture (15) has a cylindrical top-piece, and has a greater diameter than the substrate. An absorber (17) is placed around the substrate to consume reactive particles.

Preferably, the reactive particles are ions and/or radicals of fluorine compounds. The diaphragm is made from a fluorine-resistant material, especially aluminium. The absorber is made of quartz, silicon, plastic or graphite.

ADVANTAGE - Inhomogeneities in the plasma distribution at the edges

are reduced by use of the absorber.

Dwg.2/4

Title Terms: ANISOTROPE; PLASMA; ETCH; SILICON; WAFER; REACT; PARTICLE;
FLUORINE; PLASMA; ACCELERATE; THROUGH; PERFORATION; ALUMINIUM;
DIAPHRAGM;

WAFER; SURROUND; ABSORB

Derwent Class: L03; U11

International Patent Class (Main): C23F-004/00; H01L-021/3065

International Patent Class (Additional): C23C-016/44; H01J-037/317;
H05H-001/46

File Segment: CPI; EPI

Manual Codes (CPI/A-N): L04-C07D; L04-D04

Manual Codes (EPI/S-X): U11-C07A1

Derwent Registry Numbers: 1666-U; 1694-U; 1777-U; 1778-U

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 199 19 832 A 1

⑤① Int. Cl.⁷:
H 01 L 21/3065

②① Aktenzeichen: 199 19 832.2
②② Anmeldetag: 30. 4. 1999
④③ Offenlegungstag: 9. 11. 2000

DE 199 19 832 A 1

⑦① Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:
Laermer, Franz, Dr., 70437 Stuttgart, DE; Schilp,
Andrea, 73525 Schwäbisch Gmünd, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:

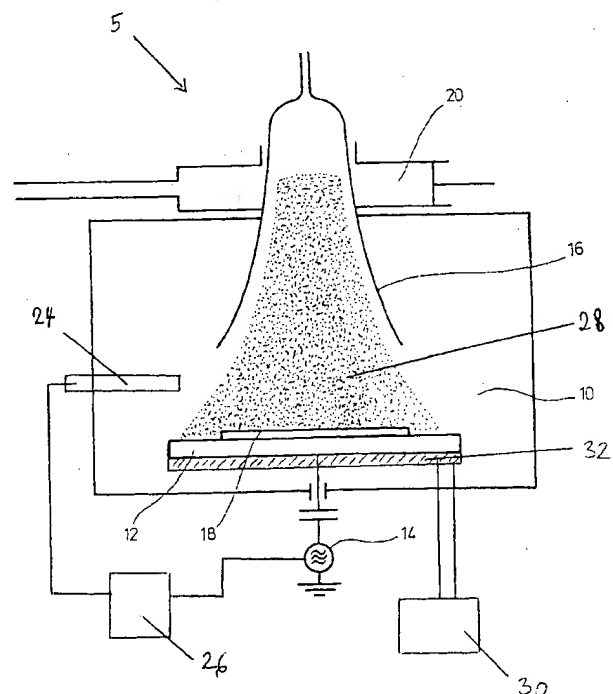
DE	197 30 644 C1
DE	42 41 045 C1
DE	37 06 127 C2
DE	40 10 672 A1
US	54 76 807
EP	7 29 175 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen von Halbleitern

⑤⑦ Es wird ein Verfahren zum anisotropen Ätzen von Strukturen in einem Halbleiterkörper, insbesondere von mit einer Ätzmaske lateral exakt definierten Ausnehmungen in einem Siliziumkörper (18), mittels eines Plasmas (28) vorgeschlagen. Dabei wird an den Halbleiterkörper zumindest während eines über eine vorgegebene Zeitdauer andauernden Ätzschrittes eine Ionenbeschleunigungsspannung angelegt, die insbesondere über eine hochfrequente Wechselspannung induziert wird. Die Zeitdauer des Ätzschrittes ist weiter in mindestens zwei Ätzabschnitte unterteilt, zwischen denen die angelegte Ionenbeschleunigungsspannung jeweils verändert wird. Bevorzugt sind zwei Ätzabschnitte vorgesehen, wobei während des ersten Ätzabschnittes eine höhere Beschleunigungsspannung verwendet wird als während des zweiten Ätzschrittes. Die Länge des ersten Ätzabschnittes kann weiter dynamisch oder statisch während der Ätzschritte mittels einer Vorrichtung zur Detektion eines Polymerdurchbruchs bestimmt werden. Zur Erzeugung und Einstellung der Höhe der Beschleunigungsspannung werden weiter bevorzugt hochfrequente Impulse bzw. Impulspakete mit einstellbarem Impuls-Pause-Verhältnis eingesetzt.



DE 199 19 832 A 1

EL23441307745

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum anisotropen Ätzen von Strukturen in einem Halbleiterkörper, insbesondere von mit einer Ätzmaske lateral exakt definierten Ausnehmungen in einem Siliziumkörper, mittels eines Plasmas nach der Gattung des Hauptanspruches.

Aus DE 42 41 045 C1 ist ein Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen von Silizium bekannt. Dabei wechseln sich sogenannte Passivier- und Ätzschritte einander ab, wobei während der Passivierschritte Polymermaterial auf den freigeätzten Strukturen abgeschieden wird und während der Ätzschritte Fluorradikale aus einem Fluorlieferanten im Plasma freigesetzt werden, welche Silizium an sich isotrop ätzen. Durch einen gerichteten Ioneneinfall während der Ätzschritte, der den Ätzgrund der geätzten Strukturen bombardiert, wird weiter zu Beginn eines jeden Ätzschrittes zunächst ein Durchbruch des im vorausgehenden Passivierschritt erzeugten Ätzgrundpolymers vollzogen.

Während der an sich isotropen Ätzschritte wird weiter eine lokale Anisotropie dadurch erreicht, daß der Anteil der schräg einfallenden Ionen, welche die Seitenwand der Strukturen treffen, ein Vorwärtssputtern, d. h. einen Abtrag und eine Redeposition des Seitenwandpolymerfilms hin zu tieferen Teilen des erzeugten Trenchgrabens während der Ätzung bewirken, so daß beim Weiterätzen die Seitenwände stets von einem Schutzfilm passiviert bleiben und vor dem Ätzangriff der isotrop agierenden Fluorchemie geschützt sind.

Insgesamt muß dazu die während der Ätzschritte benötigte Ionenenergie, die über eine durch Hochfrequenzleistungseinspeisung erzeugte Beschleunigungsspannung an der Substratelektrode bzw. dem zu ätzenden Siliziumwafer hervorgerufen wird, ausreichen, um einen Durchbruch der Ätzgrundpassivierung zu Beginn eines jeden Ätzschrittes zu gewährleisten, und daneben den Ätzgrund während der Ätzschritte von Polymer freizuhalten und den Seitenwandpolymerfilmtransportmechanismus aufrechtzuerhalten. Dies wird in DE 42 41 045 C1 durch eine relativ niedrige Ionenenergie von 10 bis 50 eV erreicht, die während der gesamten Dauer der Ätzschritte angelegt wird.

Infolge der konstanten Ionenbeschleunigung ergibt sich weiter eine feste Selektivität zwischen dem Seitenwandfilmabtrag und dem Abtrag des Ätzgrundpolymers, wobei die Dauer eines jeden Ätzschrittes weiter dadurch limitiert ist, daß der Großteil des Seitenwandpolymerfilms während der Ätzschritte abgetragen, d. h. vorwärtsgesputtert worden ist. Dieser muß daher durch einen erneuten Passivierschritt regelmäßig reinstalled werden, was letztlich auch die erreichbaren Ätzraten beschränkt, da die Passivierpausen eine Unterbrechung des Ätzfortschrittes darstellen. Wird mit zu wenig Passivierung prozessiert, leidet im übrigen die Anisotropie der Ätzung und es kommt im Bereich dielektrischer Grenzflächen d. h. beispielsweise beim Ätzstopp der Siliziumätzung auf einer Ätzstoppschicht, zur Ausbildung von lateralen Taschen, dem sogenannten "Notching-Phänomen".

In der unveröffentlichten Anmeldung DE 198 41 964.3 ist bereits vorgeschlagen worden, eine Plasmaätzanlage mit einer Vorrichtung zur Kühlung eines Siliziumkörpers während eines anisotropen Ätzprozesses zu versehen. Schließlich ist aus der Anmeldung DE 197 30 644.9 bereits bekannt, die Konzentration von Fluoratomen oder -ionen in einem Plasma mittels eines optischen Emissionsspektrometers

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruches hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, daß damit eine Anpassung der Intensität der effektiven Ionenbeschleunigung zwischen Plasma und Substratelektrode an die physikalisch-chemischen Abläufe während der Ätzschritte und bei Bedarf auch während der Polymerisationsschritte ermöglicht wird, so daß der Seitenwandpolymerfilm dem Ätzschritt länger standhalten kann. Dies hat zur Folge, daß in den Ätzschritten länger geätzt werden kann und die Unterbrechungen durch Passivierschritte seltener werden, d. h. erst in größeren Zeitabständen erforderlich sind. Somit wird vorteilhaft eine insgesamt höhere Ätzrate erreicht.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

So wird vorteilhaft die Maskenselektivität dadurch verbessert, daß nur in den initialen Ätzgrundpolymerdurchbruchphasen mit hoher Ionenbeschleunigungsspannung geätzt wird, während über die restliche Dauer der Ätzschritte mit einer über eine reduzierte Spannung erzeugten reduzierten Ionenbeschleunigung nur noch der Ätzgrund von Polymermaterial freigehalten und der Seitenwandfilmtransportmechanismus aufrechterhalten werden muß.

Schließlich wird auch die Anisotropie des Ätzprozesses, insbesondere hinsichtlich des erzielten vertikalen Profils, verbessert, da die Passivierung der Seitenwände effektiver ist und die Prozeßparameter so optimiert werden können, daß die jeweils exakt richtige Polymermenge abgetragen und redeponiert, also durch den über die anliegende Spannung induzierten Ioneneinfall vorwärtsgesputtert wird.

Vorteilhaft ist weiterhin, daß durch eine während der Ätzschritte zeitweilig verminderte hochfrequente Wechselspannung oder eingekoppelte Hochfrequenzleistung, die mit einer verminderten Ionenbeschleunigungsspannung verbunden ist, das Seitenwandpolymer langsamer abgetragen wird, so daß eine bessere Selektivität des Ätzgrundpolymerabtrags relativ zum Seitenwandpolymerabtrag über einen Ätzschritt hinweg erreicht wird. Infolgedessen können die Ätzschritte sehr vorteilhaft zeitlich verlängert werden, was die Ätzrate und gleichzeitig auch die Anisotropie der Ätzung verbessert. Dies beruht darauf, daß in den Ätzschritten jeweils genau soviel Polymer vorwärtsgesputtert wird, wie zum Erzielen eines optimalen Ätzprofils (senkrechte Wände) benötigt wird. Gleichzeitig wird bei verminderter Ionenbeschleunigung auch weniger Maskenmaterial abgetragen, so daß damit vorteilhaft auch eine höhere Maskenselektivität erreicht wird.

Schließlich ist das erfindungsgemäße Verfahren insgesamt auch "sanfter", d. h. weniger aggressiv bei Erreichen einer dielektrischen Grenzfläche, da die Ionenenergie nach dem Durchbruch der Ätzgrundpassivierung jedesmal reduziert wird. Somit werden schädliche Auswirkungen der Ionenbombardierung, insbesondere der "Notching-Effekt" mit Taschenbildung infolge von elektrischen Aufladungen und Ionenablenkung in Grenzflächenbereichen, über die verbleibende Zeit des Ätzschrittes reduziert.

Vorteilhaft ist weiterhin, daß durch ein optisches Emissionsspektrometer, das die Fluorkonzentration in dem Plasma als Funktion der Zeit bestimmt, die Dauer der Ätzabschnitte dynamisch kontrolliert und über den Hochfrequenzgenerator geregelt werden kann.

Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt es weiterhin vorteilhaft, zwischen den Ätzabschnitten und beim Übergang von Ätzschritten zu den Polymerisationsschritten die

eingekoppelte Hochfrequenzleistung kontinuierlich mit einer Rampenfunktion zu verändern.

Darüberhinaus ist vorteilhaft, daß das erfindungsgemäße Verfahren mit einer Vielzahl von weiteren Prozeßparametern verknüpft und an die jeweiligen Erfordernisse optimiert werden kann. Dazu eignet sich beispielsweise der Prozeßdruck, der Gasfluß der zugeführten Reaktivgase und die Plasmaleistung.

Besonders vorteilhaft ist weiterhin, wenn die zeitliche Veränderung der Ionenbeschleunigungsspannung mit einer Anpassung der Temperatur des zu ätzenden Siliziumkörpers verknüpft ist. Damit läßt sich ein nahezu gleichzeitiger Durchbruch des Ätzgrundpolymers unabhängig von den Aspektverhältnissen der jeweiligen Trenchgräben erreichen.

Zur Veränderung der Ionenbeschleunigungsspannung besteht vorteilhaft eine Vielzahl von Möglichkeiten. Bevorzugt ist eine Modulation der eingekoppelten Hochfrequenzleistung mit einer niederfrequenten Modulationsspannung während der Ätzabschnitte oder die Aufteilung der anliegenden Hochfrequenzleistung bzw. hochfrequenten Wechselspannung in Wechselspannungspulse mit definiert einstellbarem Impuls-Pause-Verhältnis, das in einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung deutlich kleiner als 1 gewählt wird. Hierdurch lassen sich elektrische Aufladungen, die sogenannte "Notching"-Effekte bewirken können, reduzieren.

Die Ionenbeschleunigungsspannung wird in diesem Fall in Form zeitlich sehr kurzer, sehr intensiver Hochfrequenzimpulse mit relativ langen Pausen zwischen den Pulsen bewirkt, wobei der Durchschnittswert der Ionenbeschleunigung unmittelbar über das Impuls-Pause-Verhältnis in einem weiten Bereich einstellbar wird.

Zur Beschleunigung des initialen Ätzgrundpolymerdurchbruchs zu Beginn eines Ätzschrittes ist es weiter vorteilhaft, wenn in dieser Zeit dem Prozeßgas ein chemisch gegenüber dem Ätzgrundpolymer besonders aggressives Gas wie NF_3 oder O_2 zugesetzt wird.

Zeichnung

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Die Figur zeigt eine Plasmaätzanlage.

Ausführungsbeispiele

Die Figur zeigt eine Plasmaätzanlage 5 mit einer Ätzkammer 10 in der eine Substratelektrode 12 angeordnet ist, die mit einem zu ätzenden Siliziumkörper 18, insbesondere einem mit einer Ätzmaske strukturierten Siliziumwafer, in Kontakt ist. Weiter ist ein Hochfrequenzgenerator 14 vorgesehen, der eine Hochfrequenzleistung erzeugt, die über die Substratelektrode 12 in den Siliziumkörper 18 eingekoppelt wird. Somit liegt an dem Siliziumkörper 18 über die eingekoppelte Hochfrequenzleistung eine hochfrequente Wechselspannung an. Diese bewirkt als Ionenbeschleunigungsspannung eine Beschleunigung von positiv geladenen, in einem Plasma 28 generierten Ionen, die damit zumindest weitgehend nahezu senkrecht auf die Oberfläche des Siliziumkörpers 18 einfallen. Weiter ist ein Surfatron 16 und ein Hohlleiter 20 vorgesehen. Der Hohlleiter 20 dient zur Einstrahlung oder Einkopplung elektrischer Felder an das Surfatron 16 zur Erzeugung des Plasmas 28, insbesondere elektrischer Hochfrequenzfelder oder bevorzugt elektrischer Mikrowellenfelder. Dem Surfatron 16 werden von oben weiter in an sich bekannter Weise Reaktivgase zugeführt.

Zur Analyse der Zusammensetzung des Plasmas 28 als Funktion der Zeit anhand für die Plasmazusammensetzung typischer Emissionslinien ist weiter ein optisches Emis-

ionsspektrometer 24 vorgesehen, das mit einer Auswerteeinheit 26 in Verbindung steht. Die Auswerteeinheit 26 ist dabei weiter mit einem Sollwerteingang des Hochfrequenzgenerators 14 verbunden, so daß die von dem Hochfrequenzgenerator 14 in den Siliziumkörper 18 eingekoppelte hochfrequente Wechselspannung, die die Ionenbombardierung aus dem Plasma 28 bewirkt, über die Auswerteeinheit 26 als Funktion der über das optische Emissionsspektrometer bestimmten Plasmazusammensetzung geregelt wird. Weiter ist ein Kühlaggregat 30 vorgesehen, das mit einer Substratelektrodenkühlung 32 in Verbindung steht, und über das eine Temperatureinstellung der Substratelektrode 12 und darüber des Siliziumkörpers 18 im Bereich von -30°C bis $+70^\circ\text{C}$ einstellbar ist. Die vom Hochfrequenzgenerator 14 in die Substratelektrode eingekoppelte Hochfrequenzleistung bzw. hochfrequente Wechselspannung kann einerseits eine zeitlich während eines Ätzschrittes in ihrer Amplitude konstante Hochfrequenzleistung oder hochfrequente Wechselspannung sein, sie kann jedoch in bevorzugter Ausgestaltung auch eine getaktete Hochfrequenzleistung bzw. hochfrequente Wechselspannung mit variabel zwischen den Ätzschritten und/oder während eines Ätzschrittes einstellbarem Puls-Pause-Verhältnis sein, wobei die Pulse besonders bevorzugt sehr kurz und intensiv und die Pausen zwischen den Pulsen relativ lang gewählt werden.

Die Plasmaätzanlage 5 und ein damit durchführbares anisotropes Plasmaätzverfahren ist grundsätzlich, abgesehen von dem vorgesehenen Emissionsspektrometer 24, der Auswerteeinheit 26 sowie der darüber geregelten hochfrequenten Wechselspannung bzw. Hochfrequenzleistung an dem Siliziumkörper 18, und der Substratelektrodenkühlung 32, aus DE 42 41 045 C1 bekannt.

Eine Plasmaätzanlage mit einer Vorrichtung zur Kühlung eines Siliziumkörpers während eines anisotropen Ätzprozesses ist weiter in der unveröffentlichten Anmeldung DE 198 41 964.3 bereits vorgeschlagen worden. Aus dieser Anmeldung sind auch weitere Details zur technischen Realisierung der Substratelektrodenkühlung 32 und dem Kühlaggregat 30 zu entnehmen.

Kern der Erfindung ist die gezielte und kontrollierte Modulation der an dem Siliziumkörper 18 effektiv anliegenden Ionenbeschleunigungsspannung über die Zeitdauer der Ätzschritte.

Dazu werden die Ätzschritte jeweils in mindestens zwei Ätzabschnitte unterteilt, wobei in den einzelnen Ätzabschnitten mit gegenüber dem vorausgehenden Ätzabschnitt unterschiedlicher hochfrequenter Wechselspannung oder Hochfrequenzleistung und somit unterschiedlicher effektiver Ionenbeschleunigung von elektrisch geladenen Teilchen zum Siliziumkörper 18 aus dem Plasma 28 gearbeitet wird.

Die unterschiedlichen Ionenbeschleunigungsspannungen an dem Siliziumkörper 18 werden dazu zumindest zeitweise bevorzugt über entsprechende, unterschiedliche eingekoppelte Hochfrequenzleistungen des Hochfrequenzgenerators 14 erzeugt.

Im einzelnen wird als erstes Ausführungsbeispiel zu Beginn eines jeden Ätzschrittes über den Hochfrequenzgenerator 14 zunächst eine Hochfrequenzleistung oder eine hochfrequente Wechselspannung über die Substratelektrode 12 an den Siliziumkörper 18 angelegt, welche zum raschen Durchbruch eines während eines vorausgehenden Passivierungs- oder Polymerisationsschrittes erzeugten Ätzgrundpolymers, beispielsweise in bereits geätzten Trenchgräben, ausreichend ist. Nachdem das Ätzgrundpolymer in diesem ersten Ätzabschnitt durchbrochen worden ist, wird dann beispielsweise die Hochfrequenzleistung so weit reduziert, daß einerseits eine erneute Bedeckung des Ätzgrundes mit Polymermaterial verhindert wird, daß diese andererseits aber noch

ausreichend ist zur Aufrechterhaltung des bekannten Seitenwandpolymerfilmtransports, der seinerseits zur Bewahrung der lokalen Anisotropie des Plasmaätzverfahrens in den Ätzschritten notwendig ist.

Ausgehend von einem anisotropen Plasmaätzverfahren für Silizium, wie es beispielsweise aus DE 42 41 045 C1 bekannt ist, ist ein für das erfindungsgemäße Verfahren geeigneter Parametersatz dann durch folgende Einstellungen für die verwendeten Gase, Gasflüsse, Plasmaleistungen, Dauer der einzelnen Verfahrensschritte und der Größe der eingekoppelten Hochfrequenzleistung bzw. anliegenden hochfrequenten Wechselspannung gegeben:

Passivier- oder Polymerisationsschritt:

100 sccm C_4F_8 bei 10 μ bar Druck, 800 Watt Plasmaleistung, 5 Sekunden Dauer des Passivierschritts, keine Hochfrequenzleistung am Siliziumkörper **18** oder der Substratelektrode **12**

Ätzschritt:

Gesamtdauer eines Ätzschrittes: 20 Sekunden

erster Ätzabschnitt des Ätzschrittes:

130 sccm SF_6 + 20 sccm O_2 bei 20 μ bar Druck, 800 Watt Plasmaleistung, Hochfrequenzleistung von 10 Watt oder Amplitude der hochfrequenten Wechselspannung (13,56 MHz) von 30 bis 50 Volt, Dauer des ersten Ätzabschnittes: 2 Sekunden (Durchbruchphase des Ätzgrundpolymers)

zweiter Ätzabschnitt des Ätzschrittes:

130 sccm SF_6 + 20 sccm O_2 bei 20 μ bar Druck, 800 Watt Plasmaleistung, Hochfrequenzleistung von 4 Watt oder Amplitude der hochfrequenten Wechselspannung (13,56 MHz) von 10 bis 20 Volt, Dauer des zweiten Ätzabschnittes: 18 Sekunden (Freihalten des Ätzgrundes von Polymermaterial sowie Vorwärtstreiben des Seitenwandpolymerfilms)

Der genannte Parametersatz ist dabei nur als Beispiel zu verstehen. Geeignete Werte für die Amplitude der hochfrequenten Wechselspannung und der über diese im erläuterten Beispiel vorgegebenen effektiven Ionenbeschleunigungsspannung liegen üblicherweise zwischen 1 Volt und 100 Volt bei einer Frequenz von 1 MHz bis 50 MHz.

In diesem ersten Ausführungsbeispiel wird zunächst die Hochfrequenzleistung innerhalb eines Ätzabschnittes in ihrer Amplitude zeitlich nicht verändert d. h. der Hochfrequenzgenerator **14** wird innerhalb der Ätzabschnitte kontinuierlich bei konstanter Hochfrequenzleistung betrieben und koppelt damit eine zeitlich in ihrer Amplitude innerhalb der Ätzabschnitte konstante hochfrequente Wechselspannung in die Substratelektrode **12** ein.

Die Aufteilung des Ätzschrittes in eine erste, kurze Phase von 2 Sekunden mit einer relativ hohen Spannungsamplitude an der Substratelektrode **12** oder dem Siliziumkörper **18** und eine zweite, lange Phase von 18 Sekunden mit einer relativ niedrigen Spannungsamplitude ergibt sich dabei aus der Beobachtung, daß nach ca. 2 Sekunden unter den angegebenen Bedingungen ein vollständiger Durchbruch des Ätzgrundpolymers erfolgt ist, und daß danach nur noch mit reduzierter effektiver Ionenbeschleunigungsspannung zwischen Plasma **28** und Substratelektrode **12** der Seitenwandfilmtransport sowie die Unterdrückung der Redeposition auf dem Ätzgrund aufrechterhalten werden muß.

Eine vorteilhafte Weiterführung des erläuterten ersten Ausführungsbeispiels ergibt sich dadurch, daß die Plasma-
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100
 101
 102
 103
 104
 105
 106
 107
 108
 109
 110
 111
 112
 113
 114
 115
 116
 117
 118
 119
 120
 121
 122
 123
 124
 125
 126
 127
 128
 129
 130
 131
 132
 133
 134
 135
 136
 137
 138
 139
 140
 141
 142
 143
 144
 145
 146
 147
 148
 149
 150
 151
 152
 153
 154
 155
 156
 157
 158
 159
 160
 161
 162
 163
 164
 165
 166
 167
 168
 169
 170
 171
 172
 173
 174
 175
 176
 177
 178
 179
 180
 181
 182
 183
 184
 185
 186
 187
 188
 189
 190
 191
 192
 193
 194
 195
 196
 197
 198
 199
 200
 201
 202
 203
 204
 205
 206
 207
 208
 209
 210
 211
 212
 213
 214
 215
 216
 217
 218
 219
 220
 221
 222
 223
 224
 225
 226
 227
 228
 229
 230
 231
 232
 233
 234
 235
 236
 237
 238
 239
 240
 241
 242
 243
 244
 245
 246
 247
 248
 249
 250
 251
 252
 253
 254
 255
 256
 257
 258
 259
 260
 261
 262
 263
 264
 265
 266
 267
 268
 269
 270
 271
 272
 273
 274
 275
 276
 277
 278
 279
 280
 281
 282
 283
 284
 285
 286
 287
 288
 289
 290
 291
 292
 293
 294
 295
 296
 297
 298
 299
 300
 301
 302
 303
 304
 305
 306
 307
 308
 309
 310
 311
 312
 313
 314
 315
 316
 317
 318
 319
 320
 321
 322
 323
 324
 325
 326
 327
 328
 329
 330
 331
 332
 333
 334
 335
 336
 337
 338
 339
 340
 341
 342
 343
 344
 345
 346
 347
 348
 349
 350
 351
 352
 353
 354
 355
 356
 357
 358
 359
 360
 361
 362
 363
 364
 365
 366
 367
 368
 369
 370
 371
 372
 373
 374
 375
 376
 377
 378
 379
 380
 381
 382
 383
 384
 385
 386
 387
 388
 389
 390
 391
 392
 393
 394
 395
 396
 397
 398
 399
 400
 401
 402
 403
 404
 405
 406
 407
 408
 409
 410
 411
 412
 413
 414
 415
 416
 417
 418
 419
 420
 421
 422
 423
 424
 425
 426
 427
 428
 429
 430
 431
 432
 433
 434
 435
 436
 437
 438
 439
 440
 441
 442
 443
 444
 445
 446
 447
 448
 449
 450
 451
 452
 453
 454
 455
 456
 457
 458
 459
 460
 461
 462
 463
 464
 465
 466
 467
 468
 469
 470
 471
 472
 473
 474
 475
 476
 477
 478
 479
 480
 481
 482
 483
 484
 485
 486
 487
 488
 489
 490
 491
 492
 493
 494
 495
 496
 497
 498
 499
 500
 501
 502
 503
 504
 505
 506
 507
 508
 509
 510
 511
 512
 513
 514
 515
 516
 517
 518
 519
 520
 521
 522
 523
 524
 525
 526
 527
 528
 529
 530
 531
 532
 533
 534
 535
 536
 537
 538
 539
 540
 541
 542
 543
 544
 545
 546
 547
 548
 549
 550
 551
 552
 553
 554
 555
 556
 557
 558
 559
 560
 561
 562
 563
 564
 565
 566
 567
 568
 569
 570
 571
 572
 573
 574
 575
 576
 577
 578
 579
 580
 581
 582
 583
 584
 585
 586
 587
 588
 589
 590
 591
 592
 593
 594
 595
 596
 597
 598
 599
 600
 601
 602
 603
 604
 605
 606
 607
 608
 609
 610
 611
 612
 613
 614
 615
 616
 617
 618
 619
 620
 621
 622
 623
 624
 625
 626
 627
 628
 629
 630
 631
 632
 633
 634
 635
 636
 637
 638
 639
 640
 641
 642
 643
 644
 645
 646
 647
 648
 649
 650
 651
 652
 653
 654
 655
 656
 657
 658
 659
 660
 661
 662
 663
 664
 665
 666
 667
 668
 669
 670
 671
 672
 673
 674
 675
 676
 677
 678
 679
 680
 681
 682
 683
 684
 685
 686
 687
 688
 689
 690
 691
 692
 693
 694
 695
 696
 697
 698
 699
 700
 701
 702
 703
 704
 705
 706
 707
 708
 709
 710
 711
 712
 713
 714
 715
 716
 717
 718
 719
 720
 721
 722
 723
 724
 725
 726
 727
 728
 729
 730
 731
 732
 733
 734
 735
 736
 737
 738
 739
 740
 741
 742
 743
 744
 745
 746
 747
 748
 749
 750
 751
 752
 753
 754
 755
 756
 757
 758
 759
 760
 761
 762
 763
 764
 765
 766
 767
 768
 769
 770
 771
 772
 773
 774
 775
 776
 777
 778
 779
 780
 781
 782
 783
 784
 785
 786
 787
 788
 789
 790
 791
 792
 793
 794
 795
 796
 797
 798
 799
 800
 801
 802
 803
 804
 805
 806
 807
 808
 809
 810
 811
 812
 813
 814
 815
 816
 817
 818
 819
 820
 821
 822
 823
 824
 825
 826
 827
 828
 829
 830
 831
 832
 833
 834
 835
 836
 837
 838
 839
 840
 841
 842
 843
 844
 845
 846
 847
 848
 849
 850
 851
 852
 853
 854
 855
 856
 857
 858
 859
 860
 861
 862
 863
 864
 865
 866
 867
 868
 869
 870
 871
 872
 873
 874
 875
 876
 877
 878
 879
 880
 881
 882
 883
 884
 885
 886
 887
 888
 889
 890
 891
 892
 893
 894
 895
 896
 897
 898
 899
 900
 901
 902
 903
 904
 905
 906
 907
 908
 909
 910
 911
 912
 913
 914
 915
 916
 917
 918
 919
 920
 921
 922
 923
 924
 925
 926
 927
 928
 929
 930
 931
 932
 933
 934
 935
 936
 937
 938
 939
 940
 941
 942
 943
 944
 945
 946
 947
 948
 949
 950
 951
 952
 953
 954
 955
 956
 957
 958
 959
 960
 961
 962
 963
 964
 965
 966
 967
 968
 969
 970
 971
 972
 973
 974
 975
 976
 977
 978
 979
 980
 981
 982
 983
 984
 985
 986
 987
 988
 989
 990
 991
 992
 993
 994
 995
 996
 997
 998
 999
 1000

Als eine derartige Vorrichtung ist beispielsweise das opti-

sche Emissionsspektrometer **24** zur Plasmadiagnose geeignet. Dazu wird dieses beispielsweise auf eine Fluoremissionslinie, beispielsweise auf 687 nm oder 704 nm, eingestellt, so daß die Intensität der Fluoremission im Plasma **28** indirekt das Angebot an fluorverzehrender offener Siliziumfläche anzeigt. Je höher die offene Siliziumfläche als Funktion der Zeit ist, desto niedriger ist die gemessenen Fluorintensität, da in diesem Zeitraum viel Fluor aus dem Plasma **28** für Ätzreaktionen verbraucht wird. Je niedriger die offene Siliziumfläche, desto höher ist entsprechend die Fluorintensität. Solange der Siliziumätzgrund der geätzten Strukturen des Siliziumkörpers **18** polymerbedeckt ist, ist die offene Siliziumfläche praktisch Null. Im Fall des Durchbruches des Ätzgrundpolymers wirkt dann aber mehr oder weniger die volle freigeätzte Siliziumoberfläche als Fluorverbraucher.

Hinsichtlich weiterer, an sich bekannter Details der Bestimmung der Fluorkonzentration mittels des optischen Emissionsspektrometers **24** und der nachgeschalteten Auswerteeinheit **26** im Plasma **28** bzw. zur Detektion des exakten Zeitpunktes des Durchbruchs des Ätzgrundpolymers sei auf die Anmeldung DE 197 30 644.9 verwiesen.

Im erläuterten Beispiel kann somit mittels des optischen Emissionsspektrometers **24** die Zeitdauer des ersten Ätzabschnittes bzw. des Durchbruchs des Ätzgrundpolymers entweder einmal für den jeweiligen Prozeß festgestellt und dann fest in die Auswerteeinheit **26** einprogrammiert werden, so daß diese dann zu den entsprechenden Zeiten die Hochfrequenzleistung des Hochfrequenzgenerators **14** entsprechend einstellt, und sich somit die dem jeweiligen Ätzabschnitt zugeordnete hochfrequente Wechselspannung bzw. effektive Ionenbeschleunigungsspannung am Siliziumkörper **18** einstellt. Alternativ und bevorzugt ist jedoch eine dynamische Regelung vorgesehen, wobei aus dem Signal des optischen Emissionsspektrometers **24** der Intensitätsverlauf der Fluoremission detektiert wird und über die Auswerteeinheit **26** bevorzugt kontinuierlich einem Ätzabschnitt zugeordnet wird. Die Auswerteeinheit **26** regelt somit durch Zusammenwirken mit dem Hochfrequenzgenerator **14** und dem optischen Emissionsspektrometer **24** die eingekoppelte Hochfrequenzleistung oder die dem jeweiligen detektierten Ätzabschnitt zugeordnete hochfrequente Wechselspannung auf voreingestellte Sollwerte.

Somit ist in einfacher Weise ein Parametersatz für die Zeitdauer der einzelnen, bevorzugt zwei, Ätzabschnitte während eines Ätzschrittes ermittelbar, der im übrigen auch dynamisch von dem beispielhaft angegebenen Parametersatz während eines Ätzschrittes oder eines Ätzabschnittes abweichen kann. Daher sind Vorversuche zur Ermittlung des optimalen Zeitpunktes für die Reduktion der Hochfrequenzleistung bzw. der effektiven Ionenbeschleunigungsspannung während eines Ätzschrittes nicht mehr erforderlich.

Alternativ zur optischen Emissionsspektroskopie zur Erkennung des Ätzgrundpolymerdurchbruchs bzw. des Zeitpunktes des Übergangs zwischen zwei Ätzabschnitten kann sowohl bei dynamischer Bestimmung mit nachgeschalteter Regelung als auch im Fall einer statischen Bestimmung mit nachgeschalteter Steuerung auch die Laserinterferometrie bzw. Reflektometrie eingesetzt werden. Beide Verfahren sind im Stand der Technik als Endpunkterkennungssysteme allgemein bekannt.

Mit den genannten Vorrichtungen zur Detektion des Ätzgrundpolymerdurchbruchs ist es weiter problemlos möglich zu detektieren, ob die in einem zweiten Ätzabschnitt nach dem Durchbruch eingesetzte Hochfrequenzleistung oder an der Substratelektrode **12** anliegende hochfrequente Wechselspannung im Verlauf des zweiten Ätzabschnittes stets ausreichend ist, um den Ätzgrund der herausgeätzten Struk-

tur frei von Polymermaterial zu halten.

Reicht diese Spannung dazu zeitweilig nicht aus, äußert sich dies sofort in einer Redeposition von Polymermaterial auf dem Ätzgrund, was zu einer Signalveränderung im optischen Emissionsspektrometer **24** führt, die im Fall einer dynamischen Regelung mit der Verarbeitungseinheit **26** über eine Erhöhung der am Siliziumkörper **18** über den Hochfrequenzgenerator **14** anliegenden Wechselspannung sofort kompensiert wird.

Für die Größe der eingekoppelten Hochfrequenzleistung oder die Amplitude der hochfrequenten Wechselspannung in dem zweiten Ätzabschnitt nach Durchbruch des Ätzgrundpolymers gilt dabei allgemein: Sowenig wie möglich, soviel wie nötig. Eine zu geringe Spannung hat eine unbefriedigende Anisotropie zur Folge, während eine zu hohe Spannung einen Verlust an Maskenselektivität, Ätzrate und Anisotropie bedeutet und eine vermehrte Taschenbildung fördert.

Es sei im übrigen betont, daß das Zurückschalten der Hochfrequenzleistung oder der am Siliziumkörper **18** anliegenden hochfrequenten Wechselspannung nicht schlagartig erfolgen muß, sondern auch über eine zeitliche Rampenfunktion, beispielsweise über eine Zeit von 0,5 sec bis 4 sec erfolgen kann. Dabei wird nach dem ersten Ätzabschnitt die Hochfrequenzspannung beispielsweise über eine Zeit von 2 Sekunden reduziert, nach der sie dann den Sollwert des zweiten Ätzabschnittes erreicht und auf diesem gehalten wird.

Ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung sieht vor, daß in Weiterführung des ersten Ausführungsbeispiels in den Passivierungs- oder Polymerisationsschritten anstelle mit 800 Watt mit relativ hohen Plasmaleistungen von beispielsweise 1500 Watt gearbeitet wird, wobei der Prozeßdruck vorzugsweise im für Passivierung optimalen Druckbereich von 10 µbar bis 20 µbar und der Gasfluß bei 100 sccm bis 200 sccm liegt.

Damit wird erreicht, daß in den Passivierschritten ein besonders widerstandsfähiges, relativ dickes Seitenwandpolymer abgeschieden wird, das im nachfolgenden Ätzschritt aufgrund seiner durch erhöhte Dichte verbesserten chemischen Resistenz besonders stabil hält.

Zusätzlich wird in diesem Ausführungsbeispiel über den Hochfrequenzgenerator **14** auch während der Passivierschritte bereits eine zusätzliche Ionenbeschleunigung durch Anlegen einer Hochfrequenzspannung von beispielsweise 5 Volt bis 20 Volt bzw. einer Hochfrequenzleistung von 2 Watt bis 5 Watt eingesetzt, um bereits während der Passivierschritte einen Transport des abgeschiedenen Seitenwandpolymermaterials in die Tiefe der erzeugten Trenchgräben zu bewirken. Damit werden auch die tieferliegenden Teile der Trenchgräben besonders effektiv mit einem Seitenwandschutzfilm bedeckt, wobei gleichzeitig die Dicke des erzeugten Seitenwandfilms in den oberen Bereichen der Trenchgräben dünner ist als ohne Ionenbeschleunigung und die Dicke des Seitenwandfilms im unteren Teil des Trenchgrabens zunimmt.

Je nachdem, ob die Priorität im erläuterten Ausführungsbeispiel auf der Unterdrückung von sogenannten "Notching-Effekten" d. h. einer unerwünschten Unterätzung oder Profilabweichung an dielektrischen Grenzflächen im zu ätzenden Siliziumkörper **18** oder im Erreichen möglichst hoher Ätzraten beim Ätzprozeß liegt, wird dann auf unterschiedliche Weise in den Ätzschritten weiterverfahren.

Liegt die Priorität auf der Vermeidung von "Notching-Effekten" an dielektrischen Grenzflächen, wird der nachfolgende Ätzschritt relativ schonend durchgeführt d. h. die Plasmaleistung verbleibt beispielsweise auf einem relativ niedrigen Wert von 800 Watt oder wird sogar auf beispiels-

weise 600 Watt reduziert. Dadurch wird die Ionendichte im Plasma **28** insgesamt niedrig gehalten und der Ätzschritt ist wenig aggressiv. Zur weiteren Minimierung von elektrischen Aufladungseffekten wird dazu gleichzeitig auch der Prozeßdruck im Ätzschritt bevorzugt auf 25 µbar bis 40 µbar erhöht.

Nach einem kurzen, sehr intensiven ersten Ätzabschnitt des Ätzschrittes analog dem ersten Ausführungsbeispiel wird dann mit dem Durchbruch des nunmehr sehr widerstandsfähigen Ätzgrundpolymers in einen schonenden, zweiten Ätzabschnitt ebenfalls gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel umgeschaltet, wo dank des nunmehr widerstandsfähigen Seitenwandpolymers eine sehr wirksame Passivierung der Strukturseitenwand jedes "Notching" d. h. Profilabweichungen verhindert.

Dabei wird bevorzugt in dem zweiten Ätzabschnitt zusätzlich der Prozeßdruck der Reaktivgase in der Plasmaätzanlage **5** beispielsweise auf 25 µbar bis 40 µbar nach dem Durchbruch des Ätzgrundpolymers erhöht und damit die Ionendichte, der Ionenfluß und Aufladungseffekte im zweiten Ätzabschnitt nachhaltig reduziert.

Liegt die Priorität dagegen auf der Erzielung einer möglichst hohen Ätzrate, wird zum Erreichen einer möglichst hohen Dichte Silizium ätzender Fluorradikale eine möglichst hohe Leistung in den Ätzzyklen eingesetzt. Dazu wird die Plasmaleistung im Ätzschritt über die Leistung im Passivierschritt hinaus auf Werte von 3000 Watt bis 5000 Watt erhöht, wobei bevorzugt mit einem möglichst hohen Prozeßdruck von beispielsweise 40 µbar bis 100 µbar die Dichte freier Fluorradikale weiter gesteigert wird. Dieser hohe Prozeßdruck bewirkt zusätzlich eine Absenkung der Ionendichte im Ätzschritt, was durch Reduktion des Ionenstroms zum Siliziumkörper **18** schädliche Aufladungseffekte vermindert und damit die Profilkontrolle verbessert.

Insgesamt wird ansonsten auch in dieser Verfahrensvariante zunächst entsprechend dem ersten Ausführungsbeispiel in einem kurzen, aggressiven ersten Ätzabschnitt des Ätzschrittes der Ätzgrund von zuvor deponiertem Polymermaterial befreit, während der nachfolgenden Ätzabschnitt die beschriebene, bezüglich des Seitenwandpolymermaterials schonendere Prozeßführung beibehält. Durch die Abscheidung eines besonders robusten Seitenwandpolymermaterials während des Passivierschrittes hält dieses dabei dem fluorreichen Ätzschritt besonders gut stand, so daß entsprechend tief und mit hoher Rate geätzt werden kann.

Ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung sieht, in Weiterführung des ersten oder zweiten Ausführungsbeispiels zusätzlich vor, den Durchbruch durch das Ätzgrundpolymer in allen Trenchgräben unabhängig von deren Breite oder Tiefe zu Breite-Verhältnis (Aspektverhältnis) durch gezielte Einstellung der Temperatur des Siliziumkörpers **18** in etwa gleichzeitig ablaufen zu lassen.

Im allgemeinen ist die Polymerabtragsgeschwindigkeit in schmalen Trenchgräben langsamer als in den breiten Trenchgräben, da mit zunehmenden Aspektverhältnis (Tiefe zu Breite-Verhältnis) ein immer geringerer Teil der aus dem Plasma **28** einfallenden Ionen bis zum Ätzgrund gelangt. Dieser Effekt führt unter anderem zu einer generellen Abnahme der Ätzrate in schmalen Trenchgräben gegenüber breiten, was als "RIE-Lag" bezeichnet wird. Andererseits ist aber auch der Transport von Spezies, beispielsweise polymerbildenden Monomeren, in die Tiefe der Trenchgräben zunehmend schwieriger mit wachsendem Aspektverhältnis, d. h. es erreichen immer weniger polymerbildende Monomere den Ätzgrund, was schließlich zur Folge hat, daß schmale Trenchgräben mit einem dünneren Ätzgrundpolymer belegt werden als breite.

Im erläuterten Beispiel wird daher der Ioneninduzierte

Abtrag des Ätzgrundpolymers zusätzlich durch eine Veränderung der Substrattemperatur in einem Bereich von -30°C bis $+70^{\circ}\text{C}$ derart eingestellt, daß für alle geätzten Strukturen in dem Siliziumkörper **18**, weitgehend unabhängig von deren Aspektverhältnis, nahezu gleiche Ätzraten erreicht werden. Damit wird durch die Einstellung der Temperatur des Siliziumkörpers **18** über die Substratelektrode **12** und die Substratelektrodenkühlung **32** beispielsweise ein annähernd gleichzeitiger Durchbruch des Ätzgrundpolymers im ersten Ätzabschnitt eines jeden Ätzschrittes für alle Strukturbreiten erreicht.

Die günstigste Temperatureinstellung wird dazu bevorzugt in einigen Vorversuchen mittels Testätzungen an Siliziumkörpern, die beispielsweise analog den später im Betrieb der Ätzanlage **5** zu prozessierenden Siliziumkörpern **18** strukturiert sind, unter Einsatz des beschriebenen optischen Emissionsspektrometers **24** oder mittels eines Reflektometers bestimmt. Dies geschieht, indem in den Vorversuchen über das optische Emissionsspektrometer **24** der Durchbruch durch das Ätzgrundpolymer in den Siliziumkörpern **18** über eine Variation der Temperatur des Siliziumkörpers beispielsweise auf einen möglichst steilen Abfall des Fluorsignals oder möglichst steilen Anstieg des Siliziumtetrafluoridsignals hin optimiert wird.

Je geringer die Unterschiede der erforderlichen Durchbruchzeit des Ätzgrundpolymers zwischen unterschiedlich breiten Trenchgräben oder geätzten Strukturen mit unterschiedlichem Aspektverhältnis auf dem Siliziumkörper **18** daher sind, umso steiler erfolgt der Abfall des Fluorsignals im optischen Emissionsspektrometer **24**. Damit ist über die Variation der Temperatur des Siliziumkörpers **18** durch die Substratelektrodenkühlung **32** und die Maximierung des Abfalles des Fluorsignals eine Optimierungsstrategie zum Erreichen eines möglichst gleichzeitigen Durchbruchs des Ätzgrundpolymers in unterschiedlichen Strukturen definiert.

Als besonders günstig haben sich Temperaturen von -10°C bis $+30^{\circ}\text{C}$, bevorzugt $+10^{\circ}\text{C}$ herausgestellt.

Ein viertes, besonders vorteilhaftes Ausführungsbeispiel der Erfindung sieht vor, daß das im ersten Ausführungsbeispiel beschriebene Zurückschalten der Hochfrequenzleistung oder der hochfrequenten Wechselspannung des Hochfrequenzgenerators **14** nach dem Durchbruch des Ätzgrundpolymers, d. h. zu Beginn und während des zweiten Ätzabschnittes in den Ätzschritten dadurch erreicht wird, daß die über den Hochfrequenzgenerator **14** erzeugte, am Siliziumkörper **18** anliegende hochfrequente Wechselspannung oder eingekoppelte Hochfrequenzleistung mit einem zusätzlichen niederfrequenten Modulationsspannungssignal so moduliert wird, daß die sogenannte "Hüllkurve" der hochfrequenten Wechselspannung, d. h. die Verbindungslinie der Wechselspannungsamplituden durch den momentanen Wert der niederfrequenten Modulationsspannung definiert ist. Das niederfrequente Modulationssignal aus einem zusätzlich vorgesehenen, an sich bekannten Niederfrequenzgenerator wird hierzu in einen zur Amplitudenmodulation vorgesehenen Eingang des Hochfrequenzgenerators **14** eingespeist. Viele kommerziell erhältliche Hochfrequenzgeneratoren sind mit einem entsprechenden Modulationseingang ausgestattet, so daß diese Funktion vorteilhaft im Sinne dieser Erfindung genutzt werden kann.

Eine solche Amplitudenmodulation (AM), die sich dann auch entsprechend auf die effektive Ionenbeschleunigungsspannung zwischen Substratelektrode **12** und Plasma **28** überträgt, ist dem Fachmann in der Hochfrequenztechnik an sich bekannt. Im einfachsten Fall erhält man dieses amplitudenmodulierte Hochfrequenzsignal aus einer Multiplikation der hochfrequenten Wechselspannung als Trägerspannung

mit dem niederfrequenten Modulationssignal. Die hochfrequente Wechselspannung hat dazu, wie erläutert, beispielsweise eine Frequenz von 1 MHz bis 50 MHz, während die niederfrequente Modulationsspannung eine bevorzugte Frequenz von 50 Hz bis 1 MHz, besonders bevorzugt 200 Hz bis 10 kHz, hat.

Der zeitliche Spannungsverlauf der niederfrequenten Modulationsspannung weist dabei einen rechteckförmigen oder rechteckimpulsförmigen, zumindest abschnittsweise dreieckförmigen oder, bevorzugt, einen zumindest abschnittsweise sinusförmigen Verlauf auf.

Einem rechteckförmigen oder rechteckimpulsförmigen Verlauf der niederfrequenten Modulationsspannung entspricht nach der Multiplikation mit der hochfrequenten Wechselspannung dann ein periodisches Ein- und Ausschalten der vom Hochfrequenzgenerator **14** abgegebenen Hochfrequenzleistung mit der Frequenz der Modulationsspannung. Alternativ verfügen viele kommerziell erhältliche Hochfrequenzgeneratoren über einen speziell zur Modulation mit einem rechteckförmigen Niederfrequenzsignal vorgesehenen Eingang, einen sogenannten "Burst"-Eingang: Solange an diesem "Burst"-Eingang ein oberhalb eines Schwellwerts von beispielsweise 1 V liegender Pegelwert anliegt, wird entsprechend vom Hochfrequenzgenerator **14** eine hochfrequente Wechselspannung oder Hochfrequenzleistung des gewünschten, voreingestellten Sollwertes erzeugt. Bei einem Pegelwert unterhalb dieses Schwellwerts, beispielsweise bei einem Pegelwert 0 V, wird vom Hochfrequenzgenerator **14** keine hochfrequente Wechselspannung oder Hochfrequenzleistung erzeugt. Dieser Steuerung des Hochfrequenzgenerators **14** entspricht ein periodisches Ein- und Ausschalten des Hochfrequenzgenerators **14** mit der Frequenz der niederfrequenten Modulationsspannung.

Der Vorteil eines Burst-Eingangs gegenüber gewöhnlichen Ein- und Ausschaltvorgängen besteht in besonders schnell und reproduzierbar ablaufenden Schaltvorgängen.

Im einzelnen wird im erläuterten Ausführungsbeispiel während eines ersten Ätzabschnittes eines Ätzschrittes, d. h. bis zum Durchbruch des Ätzgrundpolymers, zunächst über den Hochfrequenzgenerator **14** eine hochfrequente Wechselspannung mit konstanter Amplitude d. h. ohne eine zusätzliche Modulation an den Siliziumkörper **18** angelegt. Nach dem Durchbruch des Ätzgrundpolymers, der analog den vorausgehenden Ausführungsbeispielen beispielsweise mittels des optischen Emissionsspektrometers **24** bestimmt wird, und der somit dynamisch die Zeitdauer des ersten Ätzabschnittes bestimmt, wird dann in einem zweiten Ätzabschnitt mit einer reduzierten effektiven Ionenbeschleunigung weitergearbeitet.

Dazu werden in diesem zweiten Ätzabschnitt durch eine entsprechende zusätzlich erzeugte niederfrequente Modulationsspannung, mit der die eigentliche hochfrequente Wechselspannung in an sich bekannter Weise moduliert wird, hochfrequente Schwingungspakete oder Hochfrequenzimpulse mit einer beispielsweise rechteckförmigen, rechteckimpulsförmigen oder abschnittsweise annähernd sinusförmigen Einhüllenden in zeitlichem Abstand periodisch auf die Substratelektrode **12** bzw. den Siliziumkörper **18** gegeben.

Im einfachsten Fall weist die Einhüllende der hochfrequenten Wechselspannungspulse in diesem zweiten Ätzabschnitt einen sinusförmigen Verlauf auf, so daß sich die effektive Ionenbeschleunigungsspannung, auf die sich diese Modulation überträgt, gegenüber dem ersten Ätzabschnitt halbiert.

Eine Absenkung der effektiven Ionenbeschleunigung im zweiten Ätzabschnitt läßt sich zusätzlich oder alternativ durch einen größeren zeitlichen Abstand der hochfrequenten

Wechselspannungspulse voneinander oder durch eine zeitliche Verkürzung der Dauer der Wechselspannungspulse erreichen. Entsprechend dem jeweiligen über den zeitlichen Abstand und die zeitliche Dauer der hochfrequenten Wechselspannungspulse definierten "Impuls-Pause-Verhältnis" nimmt dann auch die effektive Ionenbeschleunigungsspannung zur Substratelektrode **12** und damit zum zu ätzenden Siliziumkörper **18** zu oder ab. Typische Impuls-Pause-Verhältnisse liegen zwischen 0,01 bis 1. Besonders bevorzugt sind Impuls-Pause-Verhältnisse zwischen 0,05 und 0,2.

Das erläuterte Verfahren zur Veränderung der effektiven Ionenbeschleunigungsspannung im zweiten Ätzabschnitt mittels einer zusätzlichen, in ihrer Frequenz einstellbaren, relativ niederfrequenten Modulationsspannung sowie einem variabel einstellbaren Impuls-Pause-Verhältnis ist offensichtlich auch zur Einstellung der effektiven Ionenbeschleunigung im ersten Ätzabschnitt geeignet und dort sehr vorteilhaft.

So können beispielsweise unterschiedliche Ionenbeschleunigungsspannungen in den verschiedenen Ätzabschnitten oder Prozeßschritten des erfindungsgemäßen Ätzverfahrens auch dadurch erreicht werden, daß eine zeitlich hinsichtlich ihrer Amplitude unveränderte hochfrequente Wechselspannung oder eingekoppelte Hochfrequenzleistung des Hochfrequenzgenerators **14** verwendet wird, daß diese Wechselspannung oder Hochfrequenzleistung dann aber über die, zusätzliche niederfrequente Modulationsspannung zumindest zeitweise mit unterschiedlichen Frequenzen oder Signalformen moduliert wird, oder unterschiedliche Impuls-Pause-Verhältnisse aufweist. Speziell im Fall eines rechteckförmigen Impulsverlauf kann der Hochfrequenzgenerator **14** auf diese Weise unter Verwendung seines "Burst"-Eingangs mit einer niederfrequenten Rechteckspannung mit variablem Impuls-Pause-Verhältnis periodisch ein- und ausgeschaltet ("gepulst") werden. Damit werden Hochfrequenzimpulse mit einer annähernd rechteckförmigen Einhüllenden generiert, die ein einstellbares Impuls-Pause-Verhältnis aufweisen, das bevorzugt deutlich kleiner als 1 ist und insbesondere zwischen 0,2 und 0,01 liegt.

Durch den Einsatz von hochfrequenten Wechselspannungspulsen während des zweiten Ätzabschnittes in den Ätzschritten wird somit der Ätzgrund während der Dauer dieser Pulse immer wieder freigeräumt und auch nur in diesen Phasen ein Vorwärtstreiben des Seitenwandpolymerfilms bewirkt. In der Zeit zwischen zwei Pulsen findet dann zwar eine gewisse (Re-)Deposition auf dem Ätzgrund und auch ein gewisser Seitenwandangriff infolge Fehlens eines Vorwärtssputtereffekts an der Seitenwand, d. h. geringer lokaler Anisotropie, statt, der nächste hochfrequente Wechselspannungspuls räumt den Ätzgrund dann aber wieder frei und gewährleistet auch ein Vorwärtstreiben des Seitenwandfilms weiter in den Trenchgraben hinein.

Da nach dem ersten Entfernen des initialen Polymerfilms am Ätzgrund zu Beginn eines jeden Ätzschrittes im ersten Ätzabschnitt nur noch zufällige Redepositionen vom Ätzgrund zu beseitigen sind, ist ein derartiger Einsatz von nur relativ kurzen, dafür aber jeweils intensiven Wechselspannungspulsen während des zweiten Ätzabschnittes jedoch vielfach ausreichend.

Die Prozeßführung mit einer niederfrequenten Modulation der hochfrequenten Wechselspannung oder Hochfrequenzleistung und/oder einem definiert eingestellten Impuls-Pause-Verhältnis der hochfrequenten Wechselspannungspulse während der einzelnen Ätzabschnitte hat gegenüber den übrigen Ausführungsbeispielen den sehr wesentlichen zusätzlichen Vorteil, daß innerhalb der Pulspausen d. h. keine anliegende Ionenbeschleunigungsspannung oder nur geringen effektiven Ionenbeschleunigungsspannungen

in dem Siliziumkörper **18** jeweils eine Entladung von zuvor unvermeidlich induzierten Aufladungen ermöglicht wird.

Besonders bevorzugt zur Vermeidung von induzierten Aufladungen ist dabei die Verwendung möglichst kurzer, intensiver Hochfrequenzimpulse, d. h. kurzer Hochfrequenzimpulse mit hohen Spannungsamplituden und relativ langen Pausen zwischen den einzelnen Hochfrequenzimpulsen. In diesem Fall findet während der kurzen Dauer der intensiven Impulse, die die einfallenden Ionen kurzzeitig auf hohe Ionenenergien beschleunigen, zunächst nur eine geringe Aufladung eines beispielsweise dielektrischen Ätzgrunds statt.

Diese, an sich bereits geringe Aufladung wird dann in den relativ langen Pausen zwischen den einzelnen Hochfrequenzimpulsen weiter zusätzlich über Entladung reduziert, bevor der nächste kurze Hochfrequenzimpuls mit entsprechend hoher Ionenbeschleunigung folgt. Für eine derartige Modulation mit möglichst kurzen Hochfrequenzimpulsen und langen Pausen zwischen den Pulsen wird bevorzugt eine niederfrequente Wiederholfrequenz von 50 Hz bis 10 kHz eingesetzt.

Im übrigen ist es selbstverständlich möglich, die vorhergehend beschriebene Modulation der hochfrequenten Wechselspannung und die Variation des Impuls-Pause-Verhältnisses miteinander zu kombinieren.

Ein fünftes Ausführungsbeispiel sieht weiter vor, einen zweiten, zusätzlichen Hochfrequenzgenerator einzusetzen, der analog dem Hochfrequenzgenerator **14** aufgebaut ist und ebenfalls mit der Substratelektrode **12** in Verbindung steht, und der im ersten Ätzabschnitt jeweils auf das Signal des Hochfrequenzgenerators **14** aufgeschaltet wird. Dieser zweite zusätzliche Generator wird dabei bevorzugt derart betrieben, daß er dem Signal des Hochfrequenzgenerators **14** kurze Hochfrequenzimpulse mit niedrigen Impuls-Pause-Verhältnis überlagert.

Weiter ist es in diesem Fall vorteilhaft, wenn beide Hochfrequenzgeneratoren auf unterschiedlichen Frequenzen, beispielsweise auf 2 MHz und 13,56 MHz, arbeiten, so daß der Hochfrequenzgenerator **14** durchgehend betrieben wird und der zweite Hochfrequenzgenerator nur während sogenannter "Burst-Phasen" zugeschaltet wird, die beispielsweise dem Durchbruch des Ätzgrundpolymers dienen.

Durch die Verwendung unterschiedlicher Frequenzen für beide Generatoren wird in einfacher Weise eine elektrische Isolation der Generatoren gegeneinander durch zugeordnete, unterschiedlich abgestimmte Anpaßnetzwerke erreicht, und somit eine gegenseitige Leistungseinkopplung der Generatoren ineinander vermieden.

Im übrigen lassen sich die vorstehenden Ausführungsbeispiele auch mit einer zumindest zeitweiligen Zugabe eines, chemisch besonders aggressiv gegenüber dem Ätzgrundpolymer wirkenden Gases, beispielsweise O_2 oder bevorzugt NF_3 , kombinieren, wobei dieses besonders aggressive Gas mit einem Gasfluß von 2 sccm bis 20 sccm bevorzugt lediglich während des ersten Ätzabschnittes zur Unterstützung eines möglichst schnellen Ätzgrundpolymerdurchbruchs eingesetzt und nach erfolgreichem Durchbruch während des zweiten Ätzabschnittes dann nicht mehr dem Prozeßgas zugesetzt wird.

Die vorstehenden Ausführungsbeispiele erläutern das erfindungsgemäße Verfahren am Beispiel der anisotropen Ätzung von Silizium. Das Verfahren ist jedoch nicht auf Silizium beschränkt, sondern eignet sich, teilweise verbunden mit einer dem Fachmann an sich bekannten Anpassung der Prozeßparameter und Reaktivgase, auch für andere Halbleitermaterialien wie beispielsweise Ge, GaAs, AlN, und GaP.

Bezugszeichenliste

5 Plasmaätzanlage	
10 Ätzkammer	
12 Substratelektrode	5
14 Hochfrequenzgenerator	
16 Surfatron	
18 Siliziumkörper	
20 Resonator	
24 optisches Emissionsspektrometer	10
26 Auswerteeinheit	
28 Plasma	
30 Kühlaggregat	
32 Substratelektrodenkühlung	15

Patentansprüche

1. Verfahren zum anisotropen Ätzen von Strukturen in einem Halbleiterkörper, insbesondere von mit einer Ätzmaske lateral exakt definierten Ausnehmungen in einem Siliziumkörper (18), mittels eines Plasmas (28), wobei an dem Halbleiterkörper zumindest während eines über eine vorgegebene Zeitdauer andauernden Ätzschrittes eine Ionenbeschleunigungsspannung zwischen dem Plasma (28) und dem Halbleiterkörper angelegt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Zeitdauer des Ätzschrittes in mindestens zwei Ätzabschnitte unterteilt wird, zwischen denen die angelegte Ionenbeschleunigungsspannung jeweils verändert wird. 20
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Halbleiterkörper ein strukturierter Siliziumwafer verwendet wird, der mit einer Substratelektrode (12) in Verbindung steht. 25
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die anliegende Ionenbeschleunigungsspannung von einer an der Substratelektrode (12) anliegenden hochfrequenten Wechselspannung hervorgerufen wird, die eine Amplitude zwischen 1 Volt und 200 Volt, insbesondere von 10 Volt bis 70 Volt, und ~~eine Frequenz von 1 MHz bis 50 MHz hat.~~ 30
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die hochfrequente Wechselspannung mit mindestens einem Hochfrequenzgenerator (14) erzeugt wird, der in den Halbleiterkörper eine Hochfrequenzleistung einkoppelt, und daß die eingekoppelte Hochfrequenzleistung entsprechend der sich während der Ätzschritte verändernden hochfrequenten Wechselspannungen verändert wird. 35
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer des Ätzschrittes in zwei Zeitabschnitte unterteilt wird, wobei während des ersten Ätzabschnittes eine höhere hochfrequente Wechselspannung und/oder eine höhere Hochfrequenzleistung verwendet wird, als während des zweiten Ätzabschnittes. 40
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß während des ersten Ätzabschnittes eine hochfrequente Wechselspannung mit einer Amplitude von 20 Volt bis 70 Volt und während des zweiten Ätzabschnittes eine hochfrequente Wechselspannung mit einer Amplitude von 10 Volt bis 20 Volt eingesetzt wird. 45
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ätzschritte alternierend mit Passivierschritten durchgeführt werden, wobei die anliegende Ionenbeschleunigungsspannung während der Passivierschritte abgeschaltet oder zumindest deutlich reduziert wird. 50
8. Verfahren nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die Länge des ersten Ätzabschnittes während eines Ätzschrittes mittels einer Vorrichtung zur Detektion eines Polymerdurchbruchs, insbesondere eines Ätzgrundpolymerdurchbruchs, bestimmt wird. 55

zeichnet, daß zumindest die Länge des ersten Ätzabschnittes während eines Ätzschrittes mittels einer Vorrichtung zur Detektion eines Polymerdurchbruchs, insbesondere eines Ätzgrundpolymerdurchbruchs, bestimmt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß als Vorrichtung zur Detektion des Polymerdurchbruchs ein optisches Emissionsspektrometer (24), ein Laserinterferometer oder ein Reflektometer eingesetzt wird, das kontinuierlich oder stichpunktartig eine den Ätzgrundpolymerdurchbruch charakterisierende physikalische Meßgröße bestimmt.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die Zeitdauer des ersten Ätzabschnittes statisch über Vorversuche oder kontinuierlich und dynamisch bestimmt wird, wobei die Vorrichtung zur Detektion des Polymerdurchbruchs über den Hochspannungsgenerator (14) die Größe der an dem Halbleiterkörper anliegenden hochfrequenten Wechselspannung und/oder Hochfrequenzleistung als Funktion der Zeit regelt.

11. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zur Detektion des Polymerdurchbruchs die Zeitdauer des ersten Ätzabschnittes dynamisch anhand des erfolgten Polymerdurchbruchs bestimmt und regelt.

12. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vorrichtung zur Einstellung der Temperatur des Halbleiterkörpers vorgesehen ist, mit der die Temperatur des Halbleiterkörpers derart eingestellt wird, daß eine Änderung der den Ätzgrundpolymerdurchbruch charakterisierenden physikalischen Meßgröße pro Zeiteinheit maximal wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur des Halbleiterkörpers in einem Bereich von -30°C bis $+70^{\circ}\text{C}$ derart eingestellt wird, daß ein Polymerdurchbruch, insbesondere ein Ätzgrundpolymerdurchbruch, zumindest weitgehend unabhängig vom Aspektverhältnissen der geätzten Strukturen, insbesondere geätzter Trenchgräben, erfolgt.

14. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderung der angelegten Ionenbeschleunigungsspannung zwischen den Ätzabschnitten und/oder den Ätzschritten und den Passivierschritten abrupt oder kontinuierlich unter Einsatz einer zeitlichen Rampenfunktion erfolgt.

15. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß neben der angelegten Ionenbeschleunigungsspannung zwischen den Ätzabschnitten und/oder zwischen den Ätzschritten und den Passivierschritten weiterhin der Prozeßdruck und/oder die Plasmaleistung und/oder der Gasfluß und/oder die Zusammensetzung des eingesetzten Reaktivgases verändert wird.

16. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Amplitude der anliegenden hochfrequenten Wechselspannung oder der eingekoppelten Hochfrequenzleistung mit einem niederfrequenten Modulationssignal aus einem Niederfrequenzgenerator moduliert, getaktet oder gepulst wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das niederfrequente Modulationssignal eine Frequenz von 50 Hz bis 1 MHz hat und einen rechteckförmigen, rechteckimpulsförmigen, zumindest

abschnittsweise dreieckförmigen oder zumindest abschnittsweise sinusförmigen Signalverlauf aufweist.

18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das niederfrequente Modulationssignal ein Rechtecksignal oder Rechteckimpulssignal mit einstellbarem, zumindest zwischen den Ätzabschnitten unterschiedlichem Puls-Pause-Verhältnis ist, das die Amplitude der eingekoppelten Hochfrequenzleistung taktet, und das der anliegenden Ionenbeschleunigungsspannung ein entsprechendes Puls-Pause-Verhältnis aufprägt.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Puls-Pause-Verhältnis zwischen 0,01 und 1, insbesondere zwischen 0,01 und 0,2 liegt.

20. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Plasma (28) zumindest zeitweilig, insbesondere während des ersten Ätzabschnittes, ein chemisch gegenüber dem Ätzgrundpolymer aggressives Gas zugesetzt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

